

(12)

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(21) Numéro de dépôt: 84400132.1

(51) Int. Cl.³: **H 04 R 17/00**
G 01 V 1/18

(22) Date de dépôt: 20.01.84

(30) Priorité: 28.01.83 FR 8301336

(43) Date de publication de la demande:
12.09.84 Bulletin 84/37

(84) Etats contractants désignés:
DE GB IT NL SE

(71) Demandeur: THOMSON-CSF
173, Boulevard Haussmann
F-75379 Paris Cedex 08(FR)

(72) Inventeur: Maerfeld, Charles
THOMSON-CSF SCPI 173, bld Haussmann
F-75379 Paris Cedex 08(FR)

(72) Inventeur: Josserand, Michel
THOMSON-CSF SCPI 173, bld Haussmann
F-75379 Paris Cedex 08(FR)

(72) Inventeur: Gragnolati, Claude
THOMSON-CSF SCPI 173, bld Haussmann
F-75379 Paris Cedex 08(FR)

(74) Mandataire: Desperrier, Jean-Louis et al,
THOMSON-CSF SCPI 173, Bld Haussmann
F-75379 Paris Cedex 08(FR)

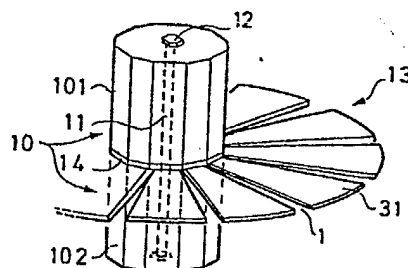
(54) Hydrophone de vitesse.

(57) L'invention se rapporte à un hydrophone de vitesse directif ne perturbant pas de façon notable le mouvement particulier du fluide dans lequel il est plongé.

L'invention a pour objet un hydrophone à lamelles fléchissantes (31) disposées en couronne et encastrées dans une masse inertielle (10) qui délivre un courant électrique sensiblement proportionnel à la vitesse particulière du fluide.

L'invention s'applique notamment à la réalisation d'antennes pour utilisation en acoustique sous-marine.

FIG.3



HYDROPHONE DE VITESSE

L'invention se rapporte aux hydrophones et en particulier aux dispositifs de ce type qui délivrent un signal électrique en réponse à la vitesse vibratoire des ondes acoustiques incidentes, cette réponse étant plate dans une plage de fréquences étendue.

5 Pour réaliser un hydrophone de vitesse, il est connu d'utiliser des transducteurs de pression acoustique agencés pour fournir un signal électrique caractéristique du gradient de pression au sein de l'onde acoustique. Les hydrophones à gradient de pression sont donc constitués par une paire de cellules captant la pression à deux emplacements distincts. Cependant, du
10 fait de l'écartement fixe des cellules, la sensibilité varie en fonction de la fréquence. L'hydrophone de vitesse auquel s'applique la présente invention comporte un élément mobile plongé dans le fluide, afin d'épouser le mouvement particulière engendré par l'onde acoustique à un emplacement déterminé. On se réfère ainsi à la déformation alternée de flexion que subit
15 l'élément mobile encastré par son extrémité dans une masse de référence pour développer par effet piézoélectrique un courant électrique. Ce courant constitue avantageusement le signal de réponse indépendant de la fréquence dans une plage située au-dessus de la fréquence naturelle de résonance de l'ensemble déformable comprenant la masse de référence.

20 Ainsi, dans cet hydrophone de vitesse, l'élément transducteur électro-acoustique a une forme lamellaire de flexibilité suffisante pour délivrer un signal électrique sensiblement proportionnel à la vitesse particulière du fluide au niveau du front d'onde reçu par l'hydrophone. A proximité immédiate de l'élément transducteur le mouvement particulière du fluide
25 est complexe notamment par le fait que l'élément transducteur vibre en flexion, avec un débattement lié à la distance qui le sépare de la masse inertielle dans laquelle l'élément transducteur est encastré.

Pour obtenir une réponse sensible à la flexion, l'élément transducteur comporte plusieurs couches convenablement polarisées.

30 Pour que le signal électrique délivré soit représentatif de la vitesse particulière dans une plage de fréquences étendue, il est nécessaire de relier les électrodes de sortie de l'élément actif piézoélectrique à un circuit

d'utilisation ayant une impédance électrique faible par rapport à la réactance capacitive de l'élément transducteur.

Pour améliorer la réponse aux basses fréquences d'un hydrophone de vitesse, on est amené à diminuer sa fréquence de résonance, contrairement à ce qui se fait avec les hydrophones de pression, où l'on cherche plutôt à étendre la réponse vers les fréquences élevées en adoptant une structure plus rigide ou de masse réduite.

Dans le cas de l'hydrophone selon l'invention, on a le choix entre des matériaux à faibles coefficients piézoélectriques et à faible module d'élasticité tels que les polymères piézoélectriques ou des matériaux à fort coefficients piézoélectriques et à fort module d'élasticité tels que les céramiques piézoélectriques. Du choix de l'épaisseur des matériaux mis en oeuvre découle la raideur et la sensibilité, mais l'étendue et la forme particulière de l'élément déformable ont également leur importance, car elles conditionnent l'étendue de la plage de fréquences où une réponse plate peut être escomptée.

L'invention a principalement pour objet un hydrophone de vitesse à équipement mobile comportant au moins un élément transducteur piézoélectrique de forme lamellaire relié par encastrement à une masse inertielle, ledit élément transducteur captant la vitesse particulière du fluide dans lequel il est plongé caractérisé en ce que l'élément se compose de lamelles flexibles séparées radialement et montées en couronne ; chacune desdites lamelles ayant une extrémité encastrée dans ladite masse inertielle.

L'invention sera mieux comprise au moyen de la description ci-après et des figures annexées, données comme des exemples non limitatifs, parmi lesquelles :

- la figure 1 est une figure explicative ;
- la figure 2 représente la zone 2 de la figure 1 ;
- la figure 3 représente une vue en perspective d'un hydrophone selon l'invention ;
- la figure 4 représente une vue en plan de l'hydrophone de la figure 3 ;
- la figure 5 est une vue en élévation de l'hydrophone de la figure 3 relié à un amplificateur différentiel ;
- la figure 6 représente la coupe d'un élément sensible bimorphe ;

- la figure 7 représente la coupe d'un élément sensible tricouche ;
- la figure 8 représente une masse inertielle profilée hydrodynamiquement ;
- la figure 9 représente une variation de réalisation de l'invention ;
- 5 - la figure 10 représente une seconde variante de réalisation de l'invention ;
- la figure 11 représente une autre variante de réalisation de l'hydrophone selon l'invention ;
- la figure 12 représente une vue de profil se rapportant à la
- 10 figure 11 ;
- la figure 13 est une vue de profil se rapportant à la figure 11 ;
- la figure 14 est un diagramme explicatif ;
- la figure 15 est une figure explicative ;
- la figure 16 est une figure explicative ;
- 15 - la figure 17 est une figure explicative ;
- la figure 18 est un schéma explicatif.

Sur la figure 1, on voit un élément transducteur piézoélectrique en forme de disque 13. Cet élément transducteur est réalisé par exemple en polyfluorure de vinylidène (PVF_2). Ses faces principales comportent des électrodes 17 et 18 destinées à collecter les charges électriques induites par effet piézoélectrique lorsqu'il fonctionne en capteur de vibrations acoustiques propagées par le milieu aqueux dans lequel il est immergé.

La figure 2 représente la zone 2 de l'élément transducteur 13 de la figure 1 délimitée par les points A, B, C et D. Lors de la flexion produite par une onde acoustique incidente, diverses tensions mécaniques régissent l'équilibre de la zone 2. F_4 représente les tensions radiales. F_5 représente suivant les normales aux faces principales de l'élément 2 les tensions tangentielles. F_3 représente les tensions circonférentielles. L'invention se propose de supprimer ces tensions circonférentielles qui ajoutent de la

25

30

raideur au disque 13, en pratiquant des découpes radiales qui décomposent le disque en lamelles flexibles disposées en couronne.

La figure 3 est une vue en élévation d'un hydrophone selon l'invention. Cet hydrophone comporte un élément transducteur piézoélectrique 13 composé de lamelles flexibles 31 identiques disposées autour d'une masse 10

faisant fonction d'encastrement. Les découpes 1 ménagent des espaces entre les lamelles 31 constituant l'élément transducteur 13. La masse 10 est composée de deux blocs 101 et 102 entre lesquels sont pincées les lamelles 31. Les blocs 101 et 102 sont réalisés en matériau de forte densité par exemple en tungstène. Les blocs 101 et 102 sont percés axialement, afin d'être serrés contre les éléments 31 au moyen d'un boulon 11 et d'un écrou 12.

Sur les figures 3 à 5, on voit que les blocs 101 et 102 sont usinés en facettes 19 aussi nombreuses que les lamelles 31. Avantageusement, chaque lamelle 31 a une forme évasée vers la périphérie comme illustré sur les figures 3 et 4.

La figure 5 est une vue en élévation de l'hydrophone des figures 3 et 4 associé à un amplificateur de courant 30. Les lamelles 31 sont munies d'électrodes situées sur leurs faces principales. Des pièces de contact 14 reliées aux fils électriques 15 et 16 sont intercalées entre les blocs 101 ou 102 et la face principale des lamelles 31. Les pièces de contact 14 comportent du côté des lamelles un élément conducteur de l'électricité et du côté des blocs 101 et 102 un élément isolant. Ce montage assure la mise en parallèle des électrodes situées d'un même côté des lamelles 31.

La figure 6 représente la vue en coupe d'un élément piézoélectrique bimorphe composé de deux couches 40 et 41 en matériau piézoélectrique ayant des polarisations opposées. Ces polarisations électriques permanentes sont parallèles à la direction Oy. Ainsi une flexion de cette structure bimorphe provoque l'apparition des charges électriques opposées sur les faces externes des couches 40 et 41. Les faces externes principales des couches 40 et 41 sont recouvertes de couches métalliques 42 et 43 formant des électrodes. Comme représenté figure 5, une des électrodes est reliée par 15 à une borne de l'amplificateur de courant 30, l'autre électrode étant reliée par 16 à l'autre borne qui est par exemple mise à la masse. Le matériau piézoélectrique des couches 40 et 41 peut être notamment une céramique, par exemple du PZT, un polymère, par exemple du PVF₂ ou une couche mince de Zn O déposée sur un substrat. Dans le cas d'une céramique piézoélectrique, l'épaisseur totale est par exemple 0,2 mm.

Avec des couches 40 et 41 en PVF₂, les électrodes 42 et 43 peuvent

être réalisées par dépôt par évaporation sous vide d'une couche de chrome de 5 nm d'épaisseur, d'une couche d'aluminium de 50 nm d'épaisseur et d'une couche de chrome de 5 nm d'épaisseur. Afin d'éviter les courants de fuite via le milieu fluide extérieur, il est avantageux de recouvrir les électrodes 42 et 43 d'un film isolant, par exemple un vernis.

La figure 7 représente la vue en coupe d'un élément sensible tricouche. Cet élément comporte deux couches piézoélectriques 40 et 41 de polarisation parallèles à la direction Oy. Entre les couches 40 et 41 est disposée une couche 44. Si la couche 44 est choisie conductrice d'électricité, les polarisations des couches 40 et 41 peuvent être de même sens, et par exemple la couche 44 est mise à la masse et les électrodes externes sont reliées à la même borne de sortie. Si par contre, la couche 44 est isolante, les polarisations des couches 40 et 41 sont nécessairement opposées. La couche 44 peut par exemple être faite du même matériau de base que les couches 40 et 41. Une réalisation particulière de lamelles comprend deux couches de PVF₂ piézoélectriques 40 et 41 et une couche 44 de PVF₂ chargée en carbone de façon à être conductrice d'électricité. Dans d'autres réalisations, la couche 44 est une couche isolante non polarisée.

Une autre variante de l'invention comporte des lamelles 31 composés d'une seule couche piézoélectrique présentant une polarisation piézoélectrique inhomogène selon la direction de l'axe Oy.

La figure 8 illustre un profil hydro-dynamique ogival du bloc 101 lui permettant de subir le moins possible l'entraînement résultant du mouvement particulier du fluide dans lequel l'hydrophone est plongé.

La figure 9 montre une variante de la réalisation de la figure 3. L'hydrophone de vitesse comprend un ensemble étagé de capteurs 32 dont les lamelles sont agencées en couronnes. Avantageusement, les lamelles 31 ont une forme évasée vers la périphérie.

Les lamelles 31 ont leurs électrodes mises en parallèle par l'intermédiaire de pièces de contact 70. Celles-ci comportent deux faces 71 conductrices séparées par une couche isolante 72. Une pièce de contact 70 est disposée entre deux capteurs en couronne 32. La distribution des capteurs en couronne 32 augmente la sensibilité aux ondes acoustiques incidentes.

L'invention prévoit de munir l'extrémité périphérique des lamelles 31

de masselottes par exemple en alliage léger. Avantageusement, l'ensemble de ces masselottes peut former un anneau de cerclage monté de façon à éviter qu'il n'agisse comme raidisseur.

La figure 10 représente une réalisation comportant une masse inertielle formant un conduit cylindrique 80. Le transducteur électro-acoustique piézoélectrique comporte une seule couronne 32 de lamelles 31. Les lamelles sont séparées l'une de l'autre par des fentes radiales 1. La couronne 32 est encastrée dans le conduit cylindrique 80 par une gorge de pincage 86. Les bords d'attaque 89 du conduit cylindrique 80 sont profilés hydrodynamiquement.

Dans une variante de réalisation, le conduit cylindrique 80 est obturé par des membranes 65 imperméables. Ainsi, l'intérieur du conduit cylindrique 80 est un espace fermé que l'on peut remplir avec un liquide isolant électrique permettant une bonne adaptation d'impédances acoustiques. Les membranes 65 transmettent le mouvement vibratoire de l'eau au liquide isolant.

La figure 11 est une coupe méridienne d'un hydrophone comportant une masse inertielle formant un conduit cylindrique 80. Des couronnes 32 de lamelles 31 sont encastrées par leur périphérie à l'intérieur du conduit cylindrique 80. Les électrodes portées par les faces des lamelles 31 sont branchées en parallèle aux entrées d'un amplificateur de courant par l'intermédiaire de prises de contact 81. Celles-ci comportent deux couches 84 conductrices séparées par un anneau en matière isolante 85. Une prise de contact 81 est prévue entre deux couronnes 32 successives de lamelles 31.

Dans une variante de réalisation, le conduit cylindrique 80 est obturé par des membranes 65 imperméables. Ainsi, l'intérieur du conduit cylindrique 80 est un espace fermé que l'on peut remplir avec un liquide isolant électrique pour assurer la transmission des ondes acoustiques. Par exemple, avec des lamelles réalisées en PVF_2 , on peut remplir le conduit cylindrique 80 avec de l'huile à pouvoir isolant élevé.

Les figures 12 et 13 donnent deux exemples de réalisation de couronnes de lamelles 31. La figure 12 illustre un exemple de réalisation utilisant avantageusement comme matériau piézoélectrique une céramique. Les lamelles séparées 31 sont disposées radialement et attachées au centre

par une pièce de liaison en matériau léger 82. Elles sont séparées les unes des autres par des espaces triangulaires 1. La figure 13 illustre un exemple de réalisation utilisant avantageusement comme matériau piézoélectrique du PVF_2 . La couronne 32 illustrée par la figure 13 peut être utilisée
5 notamment avec les hydrophones illustrés par les figures 3, 4, 5, 9, 10 et 11. La couronne 32 est obtenue en pratiquant des découpes 1 dans un disque par exemple en PVF_2 . Les découpes 1 séparent la couronne 32 en lamelles 31. Pour encastrer la couronne 32, on pratique un trou 86 permettant son montage dans les dispositifs illustrés par les figures 3, 4, 5 et 9.

10 Les couronnes 32 ou les lamelles peuvent être découpées dans un disque de polymère piézoélectrique, par exemple du PVF_2 , obtenu par forgeage. L'obtention d'un tel disque est décrite dans la demande de brevet en France déposée par la Demanderesse le 22 Février 1982 sous le n° d'enregistrement national 82.02 876. Dans de tels disques, l'anisotropie
15 mécanique et piézoélectrique est invariante selon des cercles concentriques.

Le diagramme de la figure 14 montre l'allure d'une courbe de réponse en fréquence d'hydrophone de vitesse. Le diagramme donne en abscisse la fréquence f et en ordonnée l'amplitude du signal électrique $S(f)$ fourni par l'hydrophone en réponse à une onde acoustique incidente de niveau prédéter-
20 miné et de fréquence f . La courbe comporte un plateau 50 qui part de la fréquence de résonance f_R et qui se prolonge vers les hautes fréquences, aux accidents classiques près.

La plage 50 de sensibilité constante est limitée vers les fréquences basses par une plage 54 de résonance. A la fréquence de résonance f_R , la
25 sensibilité peut présenter une pointe 53 ou un arrondi 61 selon l'amortissement prévu. En deça de la plage 54, la réponse chute selon une pente de 12 dB/octave. La caractéristique de réponse en fréquence de la figure 14 a été obtenue en reliant l'hydrophone à un amplificateur présentant une impédance électrique faible à toute fréquence par rapport à l'impédance
30 interne de l'hydrophone. Aux fréquences élevées, cette condition de charge de l'hydrophone de vitesse n'est plus satisfaite puisque la réactance capacitive diminue avec la fréquence, mais d'autres phénomènes interviennent pour limiter vers le haut la plage de fonctionnement à niveau constant.

Les figures 15, 16 et 17 sont des figures explicatives permettant de

comprendre le comportement en fréquence de l'hydrophone de vitesse selon l'invention.

Dans les trois cas de figure 15, 16 et 17, le modèle utilisé comporte une excitation mécanique par l'onde acoustique symbolisée par un générateur 55 de vitesse particulière. Les lamelles piézoélectriques déformables en flexion sont symbolisées par un ressort 56 qui relie le générateur 55 à la masse inertielle 57. L'oscillogramme 51 représente en fonction du temps le déplacement particulier communiqué au ressort 56 et à la masse suspendue 57. On suppose que l'onde acoustique incidente n'a pas d'action motrice directe sur la masse suspendue 57. L'ensemble passif ressort-masse forme alors une cellule résonante ayant une fréquence naturelle f_R fonction du rapport $\sqrt{\frac{k}{m}}$ où k représente la raideur du ressort et m la masse servant à l'encastrement des lamelles 31. La figure 15 montre l'oscillogramme 52 qui caractérise le mouvement en concordance de phase de la masse 57 et du lien entre le générateur 55 et le ressort 56. On a supposé sur la figure 15 que la fréquence d'excitation est nettement en deça de f_R . La déformation 58 du ressort 56 est faible puisque sa valeur est liée à la différence des déplacements illustrés par les oscillogrammes 51 et 52.

La figure 16 correspond au cas où la fréquence d'excitation correspond à la fréquence de résonance f_R . Les déplacements de la masse 57 sont en opposition de phase avec ceux du point de liaison entre le générateur 55 et le ressort 56. La déformation 58 du ressort 56 peut avoir une ampleur plus grande que l'amplitude de l'excitation.

La figure 17 correspond au cas où la fréquence d'excitation f est nettement supérieure à la fréquence de résonance f_R . La masse inertielle 57 reste quasi immobile de sorte que les déplacements communiqués par le générateur 55 s'appliquent quasi complètement à la déformation 58 du ressort 56. Ce mode de fonctionnement correspond au plateau de sensibilité 50 de la figure 14.

La figure 18 est un schéma électrique simplifié de la liaison entre l'hydrophone de vitesse et son amplificateur. Le condensateur 59 de capacité C représente l'admittance interne de l'hydrophone. L'admittance 60 de valeur Y représente le circuit d'entrée de l'amplificateur. D'après ce schéma, le fonctionnement en hydrophone de vitesse, est assuré si le courant

i généré par effet piézoélectrique passe le plus possible par le circuit de l'amplificateur, ce qui suppose que l'admittance $j C$ soit inférieure à Y . La grandeur d'entrée de l'amplificateur est à peu de chose près le courant de court-circuit du générateur piézoélectrique.

REVENDEICATIONS

1. Hydrophone de vitesse à équipage mobile comportant au moins un élément transducteur piézoélectrique de forme lamellaire (13) relié par encastrement à une masse inertielle (10), ledit élément transducteur (13) captant la vitesse particulière du fluide dans lequel il est plongé, caractérisé en ce que l'élément se compose de lamelles flexibles séparées radialement (31) et montées en couronne, chacune desdites lamelles (31) ayant une extrémité encastrée dans ladite masse inertielle (10).
2. Hydrophone selon la revendication 1, caractérisé par le fait que les électrodes portées par les lamelles (31) sont connectées en parallèle à un amplificateur de courant (30).
3. Hydrophone selon la revendication 1, caractérisé par le fait que les électrodes portées par les lamelles (31) sont connectées en série à un amplificateur de courant (30).
4. Hydrophone selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé par le fait que l'élément transducteur piézoélectrique (13) est du type bimorphe ou tricouche.
5. Hydrophone selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé par le fait que l'élément transducteur piézoélectrique (13) est réalisé en polymère piézoélectrique.
6. Hydrophone selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé par le fait que l'élément transducteur piézoélectrique (13) est réalisé en céramique piézoélectrique.
7. Hydrophone selon la revendication 5, caractérisé en ce qu'il comporte des lamelles (31) réalisées à partir des disques de PVF_2 obtenues par forgeage ; les découpes radiales (1) étant destinées à abaisser la résistance à la flexion dudit élément transducteur (13).
8. Hydrophone selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, caractérisé par le fait que les lamelles (31) ont une forme évasée vers la périphérie de ladite couronne.
9. Hydrophone selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, caractérisé par le fait que les lamelles (31) de l'élément transducteur piézoélectrique (13) sont encastrées radialement dans une masse inertielle

centrale (10), ladite masse inertielle (10) étant munie de facettes (19) face à chaque lamelle (31).

5 10. Hydrophone selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, caractérisé par le fait que les lamelles (31) de l'élément transducteur piézoélectrique (13) sont disposées à l'intérieur d'un conduit cylindrique (80) formant la masse inertielle (10) dudit hydrophone.

10 11. Hydrophone selon la revendication 10, caractérisé par le fait que le conduit cylindrique (80) formant la masse inertielle est obturé par des membranes imperméables, afin de permettre son remplissage à l'aide d'un fluide isolant électrique qui transmet les ondes acoustiques.

12. Hydrophone de vitesse selon l'une quelconque des revendications 10 ou 11, caractérisé par le fait que le conduit cylindrique (80) formant masse inertielle est muni de facettes dressées face à chaque lamelle (31).

15 13. Hydrophone de vitesse selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé par le fait que les lamelles (31) sont de forme rectangulaire.

14. Hydrophone de vitesse selon l'une quelconque des revendications 1 à 12, caractérisé par le fait que les lamelles (31) sont en forme de secteurs circulaires.

FIG. 1

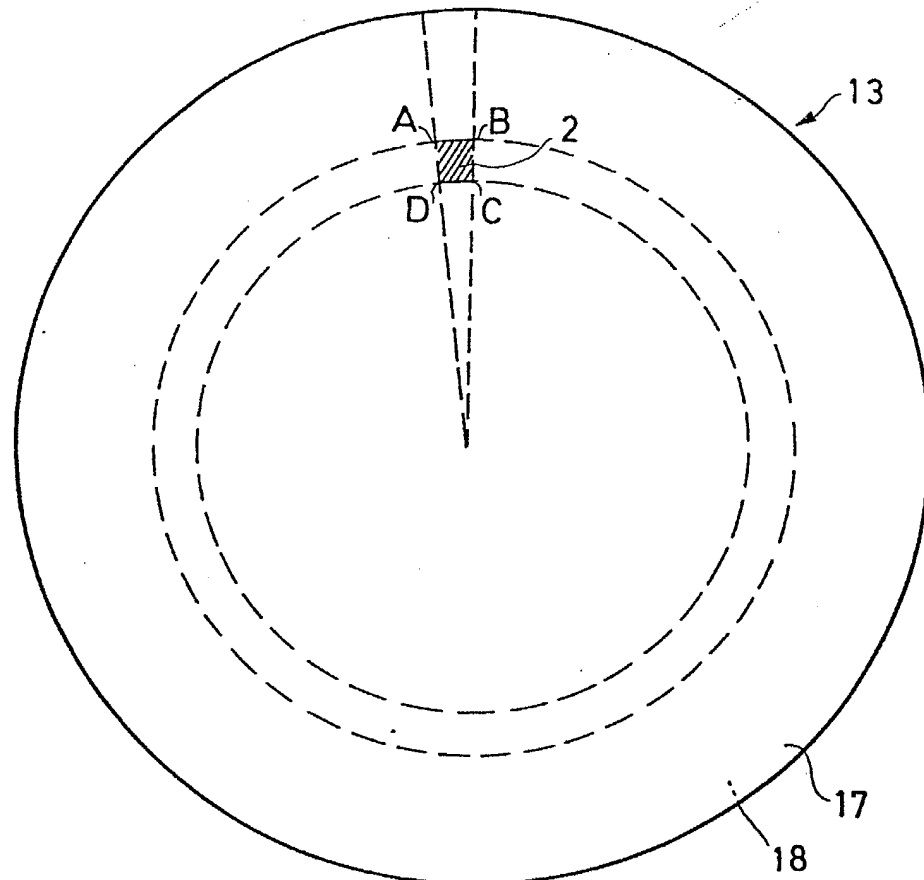
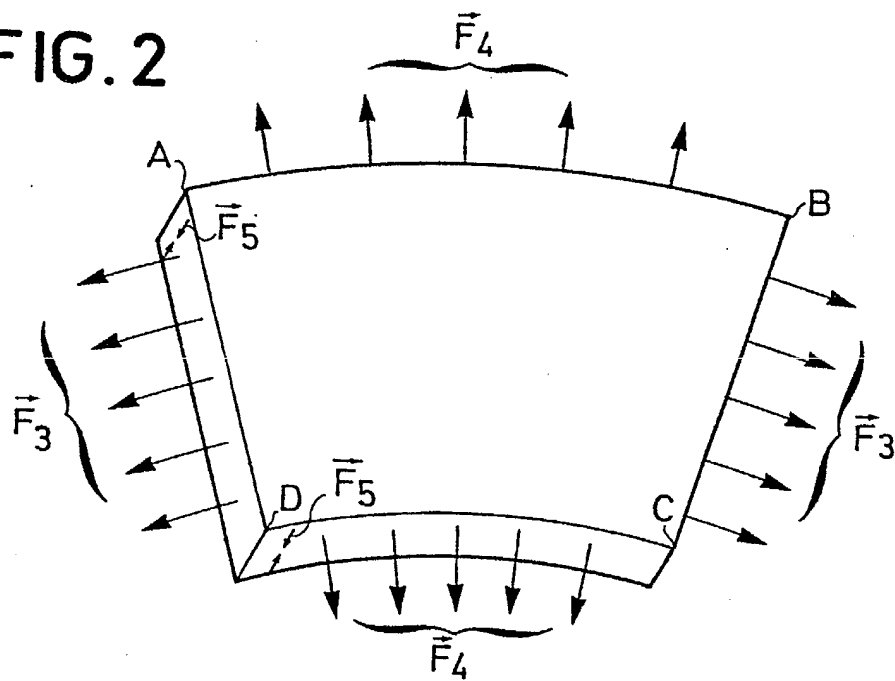


FIG. 2



2 / 6

FIG.3

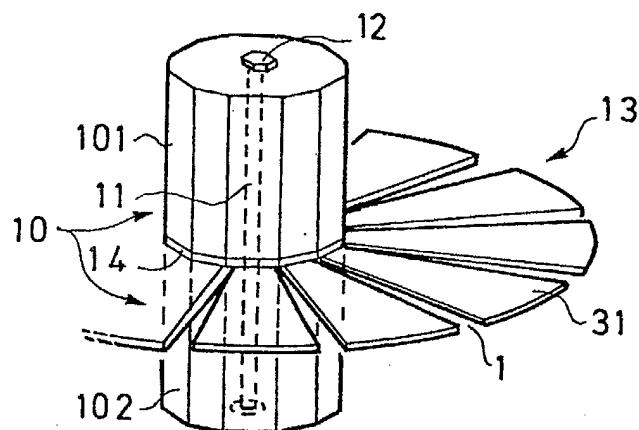


FIG.4

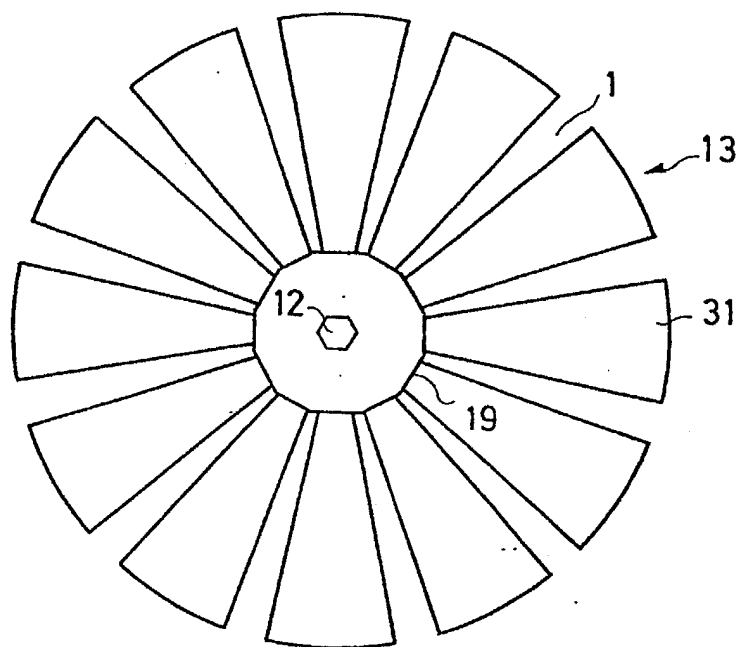
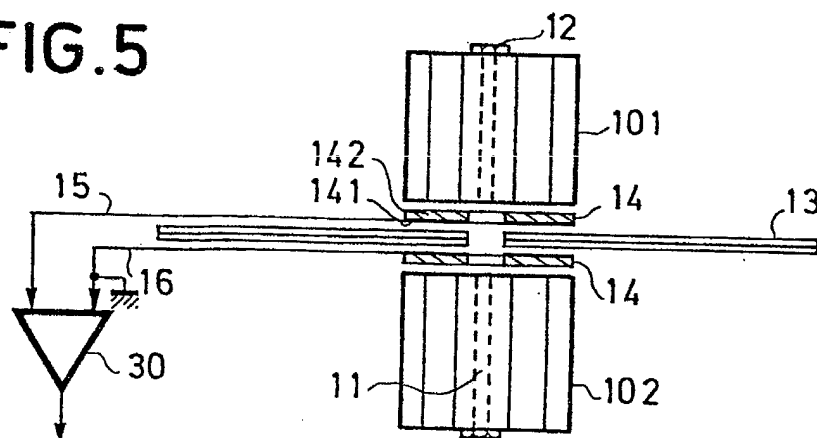


FIG.5



3/6

FIG. 6

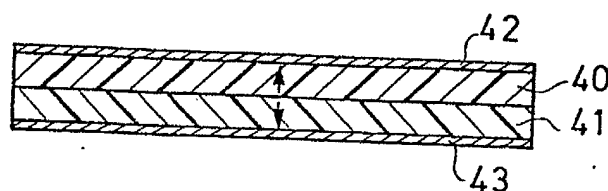


FIG. 7

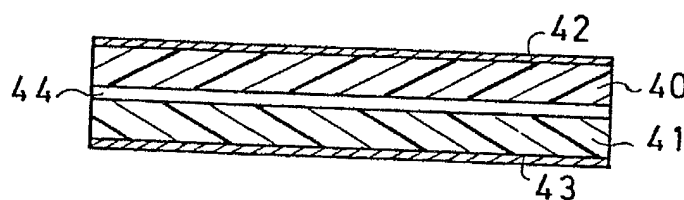


FIG. 8

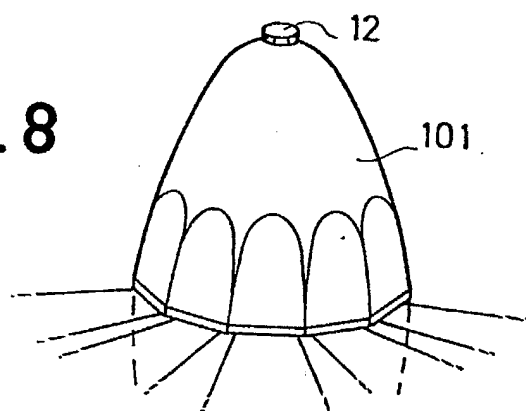


FIG. 12

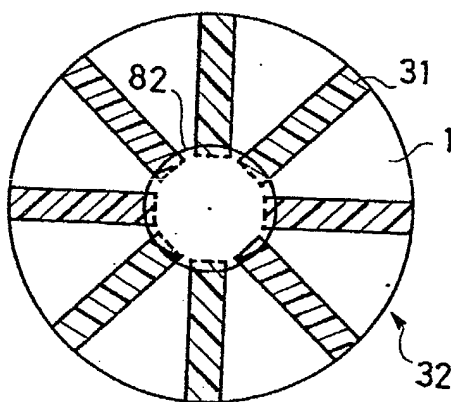
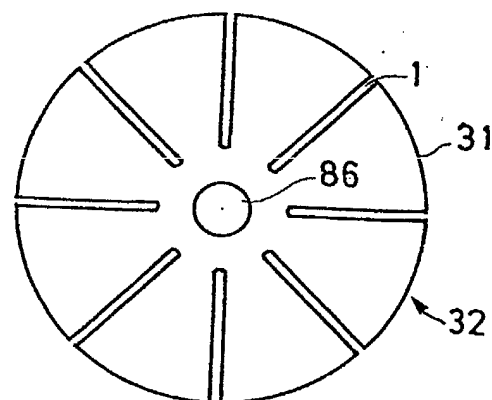


FIG. 13



4 / 6

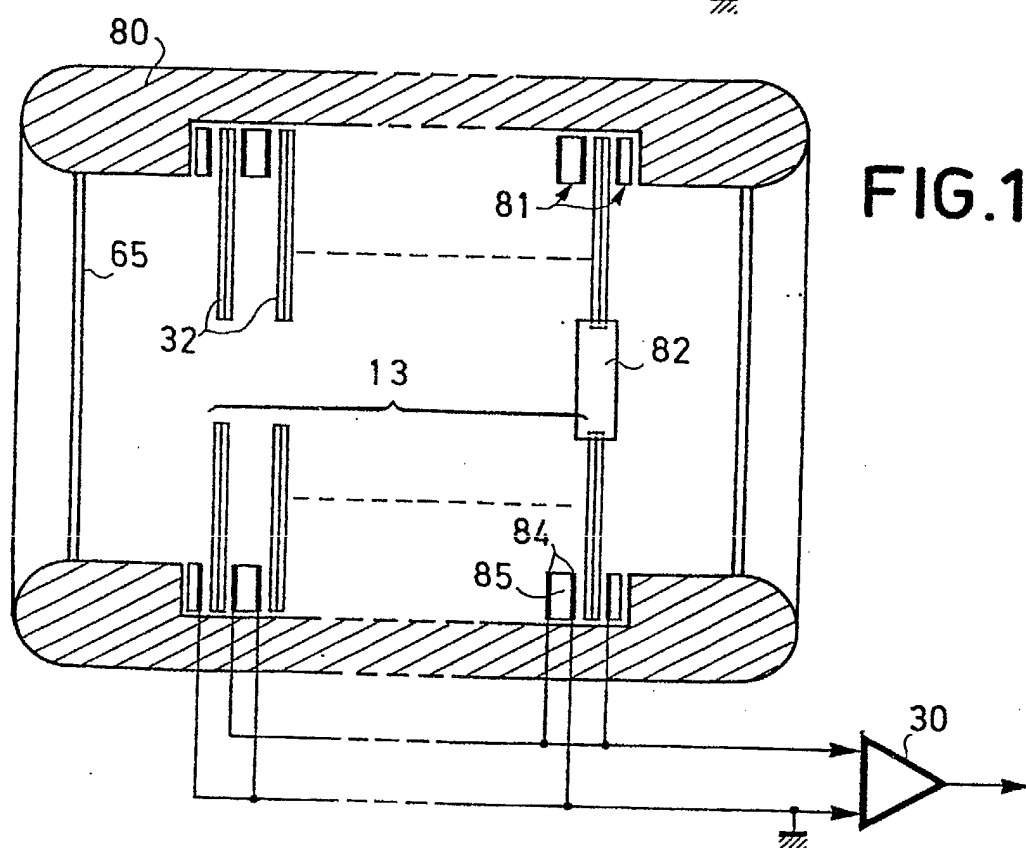
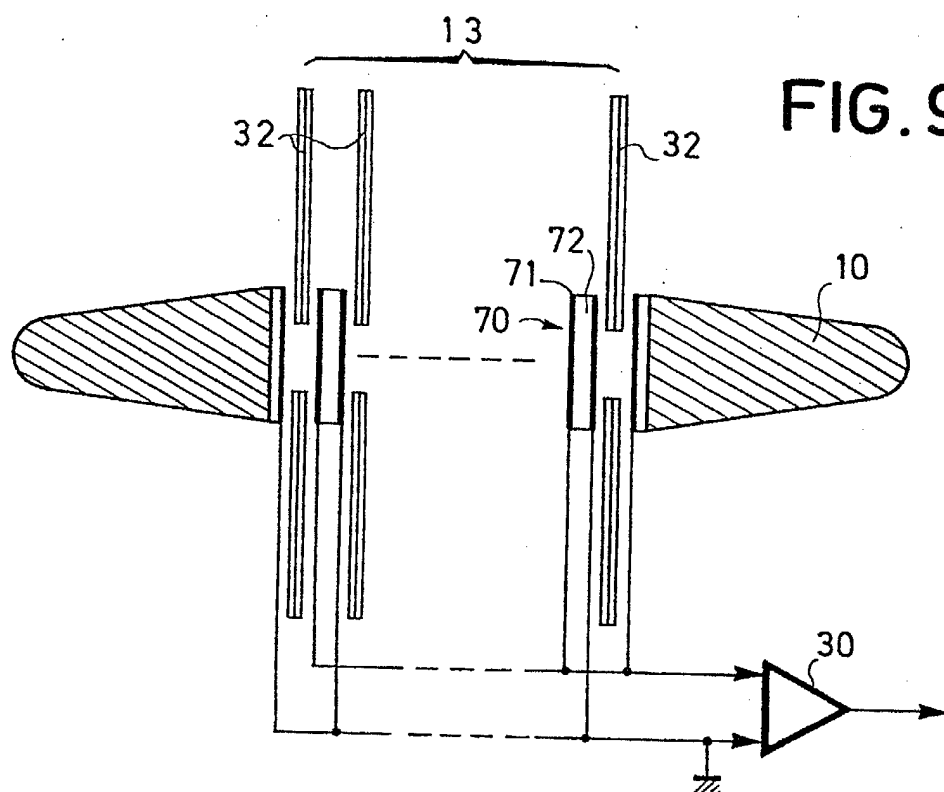


FIG.10

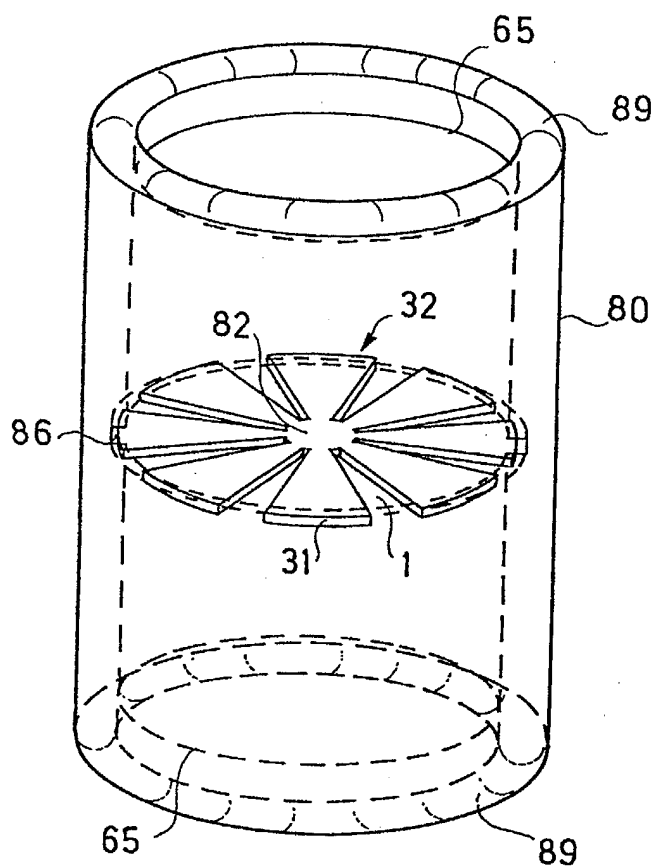


FIG.14

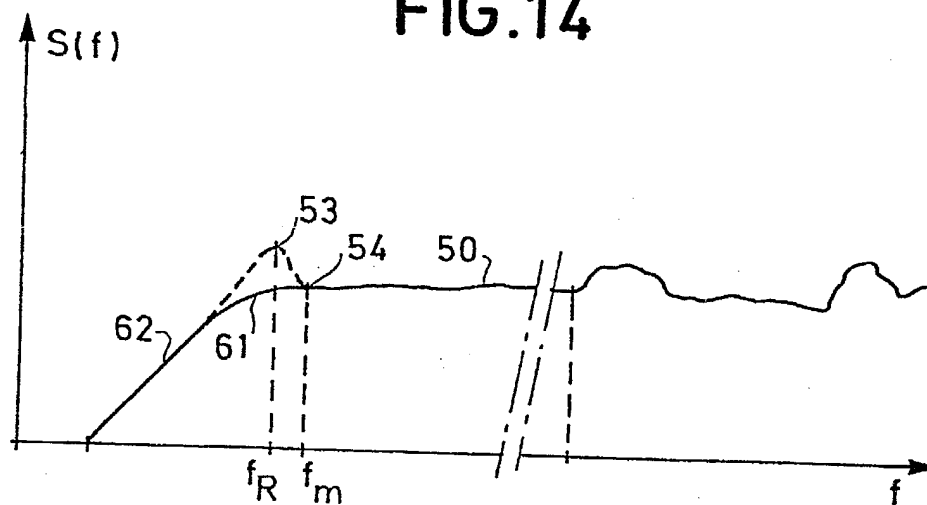


FIG. 15

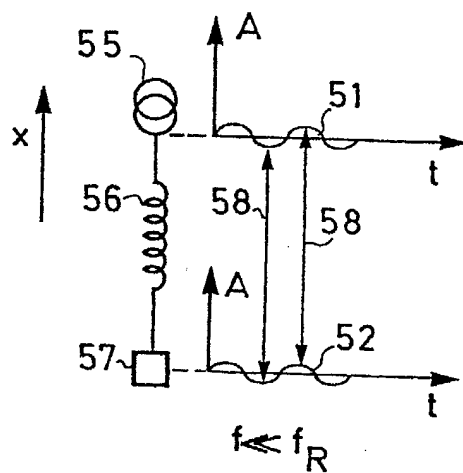


FIG. 16

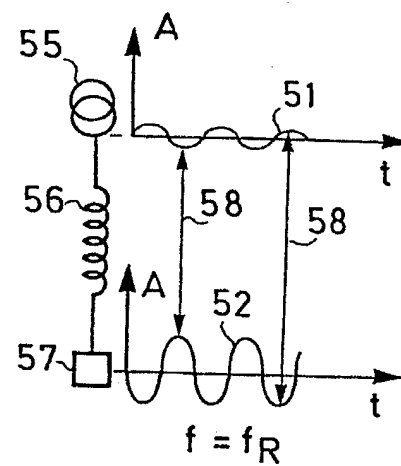


FIG. 17

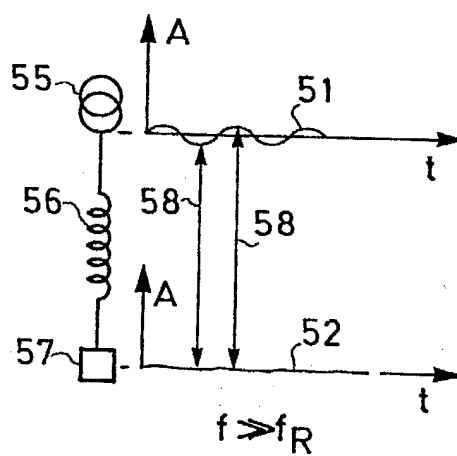


FIG. 18

